



# ARMSTRONG+COMBITHERM HOCHTEMPERATUR-WÄRMEPUMPEN



## INDUSTRIELLE WÄRMEPUMPE FÜR HOCHTEMPERATUREN



Erfahrung mit  
Hochtemperaturen  
Wärmepumpen bei hohen  
Temperaturen  
( $> 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) seit 2005

Das  
HCFO-Arbeitsmedium  
HCFO-1233zd(E) ist unschädlich  
für die Umwelt (ODP = 0,  
GWP $<$ 5, TFA  $<$  2 % im Falle  
von Leckagen<sup>1)</sup>) und für den  
Menschen (Klasse A1, nicht  
toxisch und nicht entflammbar)

Schraubenverdichter,  
der unter  
17 bar(ü)/250 psi  
läuft und so die  
Zuverlässigkeit der  
Anlage gewährleistet

Leistung  
von 300 bis 2000 kW  
pro Einheit – bis zu 3  
Kompressorkreisläufen  
angepasst an industrielle  
Bedürfnisse

Jeder  
Kompressor  
kann zwischen  
80 % und 100 %  
der maximalen Last  
betrieben werden –  
VFD für Teillasten bis zu  
50 % verfügbar

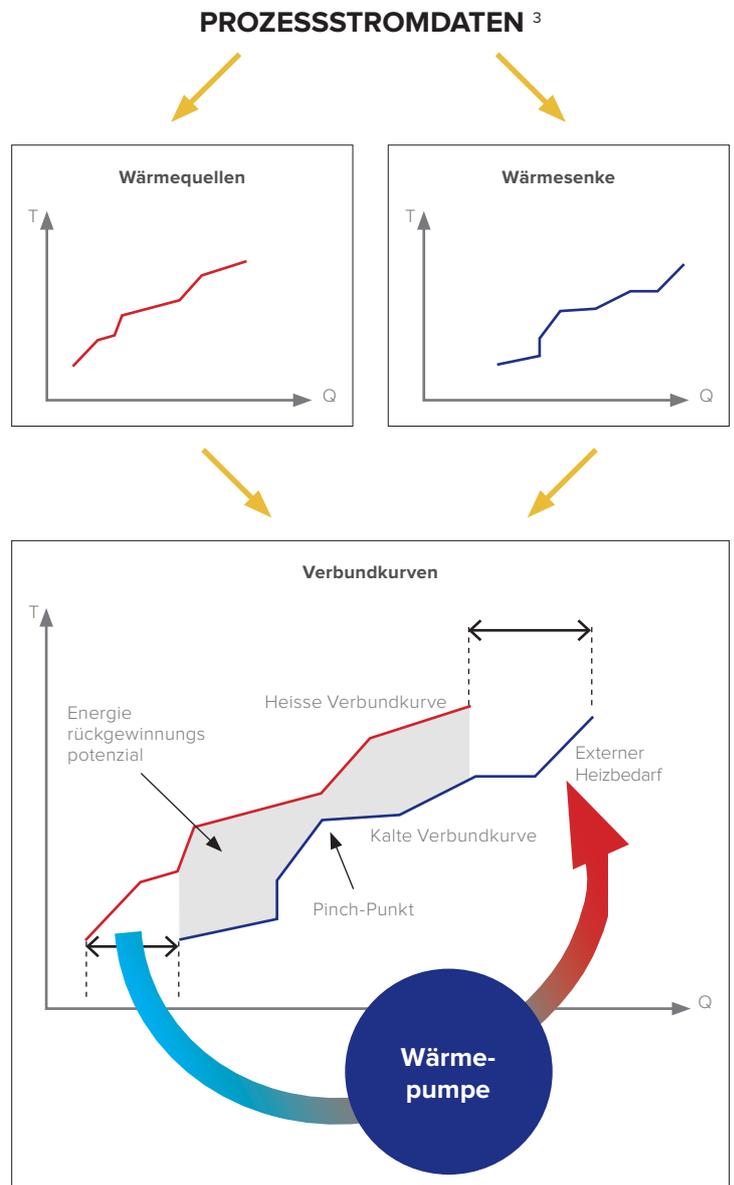
Wärmeabgabetemperatur  
(Wärmesenke)  
bis  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$  /  $248\text{ }^{\circ}\text{F}$   
(Wärmequelle  
ab  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  /  $86\text{ }^{\circ}\text{F}$ )

Wirkungsgrad des  
Carnot-Prozesses  
 $> 50\%$

Erweiterte  
Garantie durch  
vorbeugenden  
Wartungsvertrag

# HOCHTEMPERATURWÄRMEPUMPEN SIND DAS HERZSTÜCK DER THERMISCHEN DEKARBONISIERUNG

- ermöglichen die Wiederverwendung von Niedertemperaturwärme ( $< 50\text{ °C}/122\text{ °F}$ ), die von Prozess- und Kühlsystemen abgeleitet wird und derzeit in den meisten Industrieanlagen verschwendet wird. Durch den Arbeitskreislauf der Wärmepumpe wird die Warmwassertemperatur auf entsprechend hohes Niveau – bis zu  $120\text{ °C}/248\text{ °F}$  – angehoben.
- ermöglichen die Nutzung von Abwärme zur Erzeugung von Warmwasser für Hochtemperatur-Reinigungs- oder -Prozessanwendungen und ersetzen damit Dampf oder Warmwasser, die derzeit durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe oder mit elektrischen Heizgeräten erzeugt werden. Das Ergebnis ist eine erhebliche Verringerung des Primärenergieverbrauchs des Standorts in der Leichtindustrie, typischerweise von 30 % bis 100 % weniger<sup>2</sup>!
- sind eine wirtschaftliche Art der Wärmeerzeugung, wenn ihre Leistungszahl (COP) das Preisverhältnis von „erneuerbarem Strom zu fossilem Brennstoff“ übersteigt. Für Unternehmen, die ihre Wärmeerzeugung dekarbonisieren wollen, ist der Verbrauch fossiler Brennstoffe jedoch keine Option mehr - die Rückgewinnung ihrer Abwärme wird daher ein Muss<sup>3</sup>. Die Auswirkungen von Wärmepumpen (die mit erneuerbarem Strom betrieben werden) auf die Verringerung der  $\text{CO}_2$ -Emissionen machen es im Vergleich zu anderen erneuerbaren Alternativen einfacher und wirtschaftlicher, die Herausforderung der thermischen Dekarbonisierung zu bewältigen.

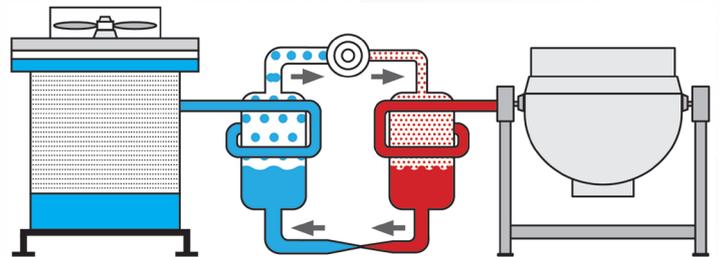


## LEISTUNGSZAHL (COP) UND KOMBINIERTE LEISTUNGSZAHL (CCOP)

Eine Wärmepumpe nutzt den Arbeitskreislauf, der das Herzstück vieler Geräte ist, die uns umgeben, wie z. B. Kühlschränke, Gebäudeklimatisierungssysteme und industrielle Kühlanlagen. Das unter niedrigem Druck stehende Arbeitsmedium kann über einen Wärmetauscher (Verdampfer) Wärme aus einer Quelle aufnehmen. Anschließend wird das gasförmige Arbeitsmedium bei höherem Druck verdichtet, wodurch sich seine Temperatur erhöht. Das Arbeitsmedium gibt dann die darin enthaltene Wärme über einen weiteren Wärmetauscher (Kondensator) an einen „Senke“ zurück. Der Kreislauf wird geschlossen, indem das Arbeitsmedium durch ein Expansionsventil geleitet wird, das einen Druckabfall – und eine Teilverdampfung – verursacht, bevor es in den Eingang des Verdampfers zurückgeführt wird.

Die Leistungszahl (COP) einer Wärmepumpe gibt das Verhältnis zwischen der bei hoher Temperatur erzeugten Wärme und dem für den Betrieb des Arbeitskreislauf erforderlichen Stromverbrauch des Kompressors an. Wenn die Kühlung der Wärmequelle ebenfalls von Nutzen ist, zum Beispiel, indem sie dazu beiträgt, die Last einer Kältemaschine zu verringern, dann ermöglicht eine höhere kombinierte Leistungszahl (CCOP), die Summe der Heiz- und Kühlleistung mit dem Stromverbrauch des Kompressors zu vergleichen.

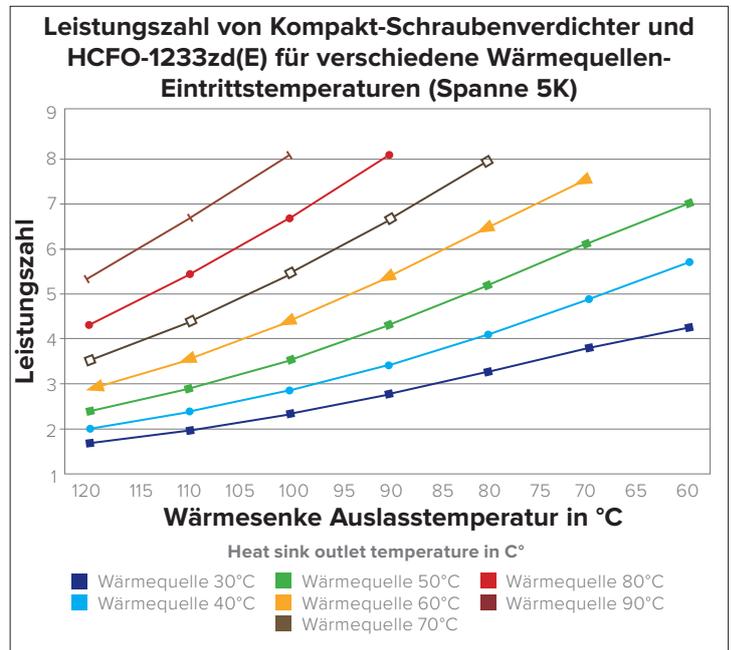
So benötigt beispielsweise eine Wärmepumpe, die 300 kW Abwärme bei 30 °C/86 °F zurückgewinnt, 100 kW Strom, um die Temperatur auf 70 °C/158 °F zu erhöhen. Sie hat also eine Heizleistung von 400 kW bei einem Stromverbrauch von 100 kW – also eine Leistungszahl von 4. Wenn die 300 kW Wärme, die der Wärmequelle entzogen werden, auch genutzt werden können, indem die Kühllast der Anlage verringert wird, dann erzeugt die Wärmepumpe 700 kW nutzbare Heiz- und Kühlleistung bei gleichem Stromverbrauch von 100 kW. Dies führt zu einer kombinierten Leistungszahl von 7, was die Amortisationszeit der Einheit erheblich verkürzt.



## OPTIMIERUNG VON LEISTUNGSZAHL UND KOMBINIERTER LEISTUNGSZAHL

Der Stromverbrauch des Kompressors steht in direktem Zusammenhang mit dem Druckanstieg, und damit dem Temperaturanstieg der Arbeitsmedium. Deshalb hängt die Leistungszahl einer Wärmepumpe eng mit den Temperaturen der Wärmesenke und der Wärmequelle zusammen – je geringer die Differenz, desto höher die Leistungszahl. Pinch-Untersuchungen von Wärmesenke und Wärmequellen ermöglichen die Optimierung der direkten Wärmerückgewinnung in einer Anlage und eine möglichst effiziente Zuordnung von Wärmequellen zu Wärmesenken<sup>3</sup>. Sie tragen auch dazu bei, die Möglichkeiten für die Installation von Wärmepumpen zur Rückgewinnung von Wärme geringer Qualität und zur Erhöhung ihrer Temperatur auf ein nutzbares Niveau zu quantifizieren. Pinch-Untersuchungen ermöglichen die Identifizierung von Anwendungen, bei denen sowohl geheizt als auch gekühlt werden muss, wodurch sich nicht nur die kombinierte Leistungszahl der Wärmepumpe erhöht, sondern auch die Belastung und der Wasserverbrauch von Kühltürmen (sofern diese eingesetzt werden) verringert werden.

In der Regel können Wärmepumpen nicht mehr als 50 % des theoretischen Wertes des Carnot-Zyklus zurückgewinnen. Industrielle Hochtemperatur-Wärmepumpen von ARMSTRONG + COMBITHERM für den industriellen Einsatz können einen Carnot-Wirkungsgrad von über 50 % erreichen, indem die Dimensionierung der Kompressoren optimiert wird und eine interne Wärmerückgewinnung integriert wird.



## WÄRMEPUMPEN UND WARMWASSERSPEICHER HELFEN, DAS PROBLEM DER UNTERBRECHUNG DER ERNEUERBAREN ENERGIEN ZU LÖSEN

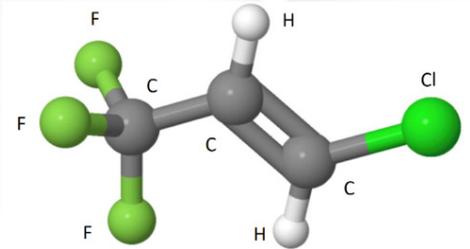
Wärmepumpen können so programmiert werden, dass sie zu bestimmten Tageszeiten laufen, wenn die Stromkosten am niedrigsten sind, insbesondere aufgrund der Schwankungen bei den erneuerbaren Energien. Durch die Anpassung des Lastmanagements an den Netzmix tragen Wärmepumpensysteme (einschließlich der Speicherung auf der Seite der Wärmequelle und der Wärmesenke) dazu bei, die Nachfrage nach erneuerbaren Energien abzufedern. Der Betrieb zu Zeiten mit den niedrigsten Stromkosten verbessert die Amortisation der Anlage.

Die industrielle Hochtemperatur-Wärmepumpe von ARMSTRONG + COMBITHERM kann über die mitgelieferte SPS in das Betriebssystem der Anlage integriert werden. Sie sind außerdem IoT-fähig und können wichtige Energie- und Betriebsdaten an cloudbasierte Dashboards übermitteln.

## HCFO-1233ZD(E) IST DAS ARBEITSMEDIUM DER WAHL FÜR INDUSTRIELLE HOCHTEMPERATUR-WÄRMEPUMPEN

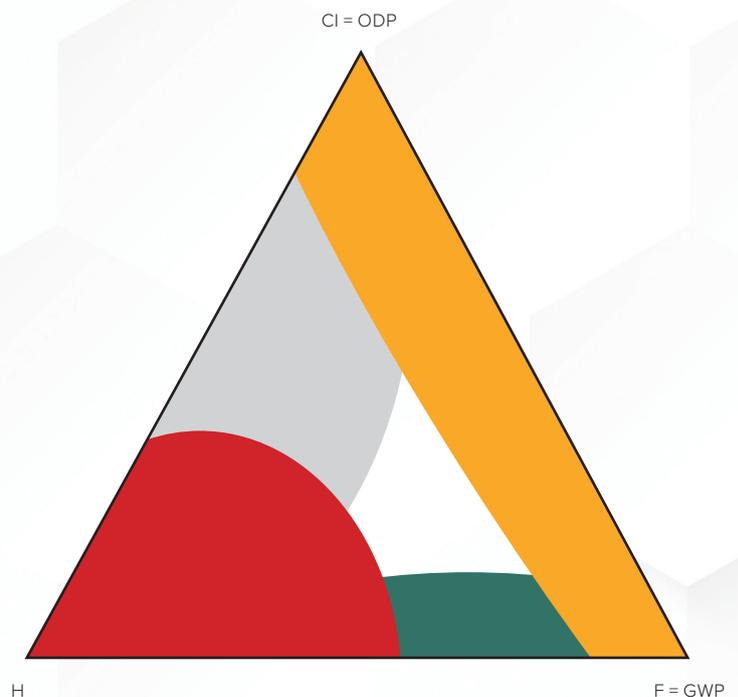
Die Auswahl des richtigen Arbeitsmediums ist eine wichtige Entscheidung bei der Konstruktion einer Wärmepumpe. Das Arbeitsmedium sollte nicht nur unschädlich für die Umwelt und den Menschen sein, sondern auch die thermodynamischen Eigenschaften aufweisen, die erforderlich sind, um Wärme über 80 °C/176 °F zuverlässig und wirtschaftlich zu erzeugen, indem der Kältekreislauf mit relativ niedrigem Druck betrieben wird.

Armstrong International und Combitherm haben umfassende technische und wirtschaftliche Überprüfungen aller für industrielle Hochtemperatur-Wärmepumpenanwendungen verfügbaren Arbeitsmedien durchgeführt<sup>4</sup>. Wir kommen zu dem Schluss, dass nur HCFO-1233zd(E) das Sicherheits-, Zuverlässigkeits- und Kostenniveau bietet, das erforderlich ist, um Hochtemperatur-Wärmepumpen in ausreichendem Maße zu entwickeln, um einen signifikanten Einfluss auf die Dekarbonisierung der Leichtindustrie zu haben.



## UNSCHÄDLICH FÜR DIE UMWELT UND DEN MENSCHEN

Die Eigenschaften von HCFO-1233zd(E), das zur HCFO-Kategorie gehört, machen es zum Arbeitsmedium der Wahl für industrielle Hochtemperatur-Wärmepumpen. Das Ozonabbaupotenzial (ODP) beträgt 0, und sein Treibhauspotenzial (GWP) liegt unter 5<sup>1</sup> - wesentlich niedriger als das GWP > 1000 der meisten bisher verwendeten HFKW-Arbeitsmedien<sup>5</sup>. Außerdem ist es nicht entflammbar und ungiftig und gehört damit zur sichersten Klasse A1. HCFO-1233zd(E) hat eine sehr kurze atmosphärische Lebensdauer von 36 Tagen (globaler Durchschnitt, lokale Werte abhängig von den Klimabedingungen<sup>1</sup>) und eine experimentelle Wahrscheinlichkeit von 0 %, TFA zu erzeugen (< 2 % theoretische Wahrscheinlichkeit<sup>4</sup>). Diese Eigenschaften erklären, warum HCFO-1233zd(E) zunehmend als Ersatz für HFKW in anderen Anwendungen eingesetzt wird, z. B. in Isolierschaum, der auf Baustellen verwendet wird, oder auch in Autoklimaanlagen.



**Halogenated refrigerants**

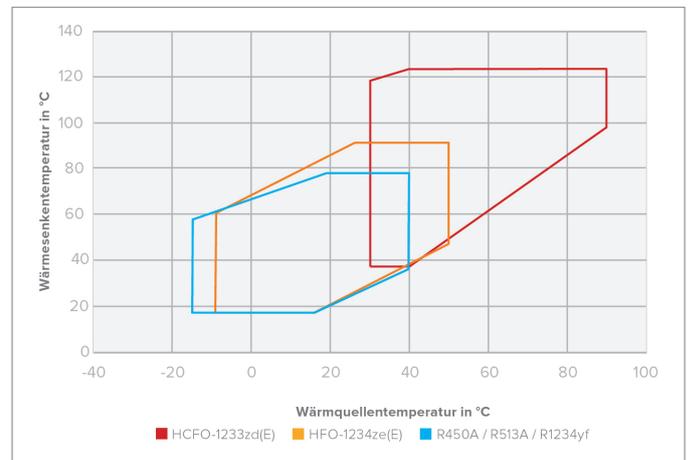
- Giftiges Gas
- Vollständig halogeniert (lange Lebensdauer in der Atmosphäre)
- Entzündliches Gas
- Chlorfrei, nicht brennbar, ungiftig, kein ODP

## WÄRMEQUELLEN AB 30 °C (86 °F) UND WÄRMESENKE BIS 120 °C (248 °F)

Der Siedepunkt von HCFO-1233zd(E) liegt bei 18 °C/65 °F, was einen Druck von 1 bar(ü) am Verdampfer ermöglicht, während die Abwärme von Quellen mit einer Temperatur von 30 °C/86 °F oder mehr zurückgewonnen wird. Die kritische Temperatur dieses Arbeitsmediums liegt bei 166 °C/331 °F, was bedeutet, dass der Druck am Verflüssiger weniger als 17 bar(ü)/250 psi beträgt, während die Wärmesenkentemperaturen bis zu 120 °C/248 °F betragen. Auf diesem Temperaturniveau kann heißes Wasser verdampft werden, um Niederdruckdampf für Anwendungen zu erzeugen, die dies erfordern.

Falls die Temperatur der Wärmequelle 30 °C/86 °F nicht erreichen kann, ist es möglich, einen Primärkreislauf mit einem anderen Arbeitsmedium zu realisieren – HFO-1234ze(E) (gehört zur Klasse A2L, schwer entflammbar) oder sogar Wasser. HFO-1234ze(E) ermöglicht eine Wärmeabgabetemperatur von bis zu 90 °C/194 °F und erleichtert so den Aufbau eines Kaskadensystems.

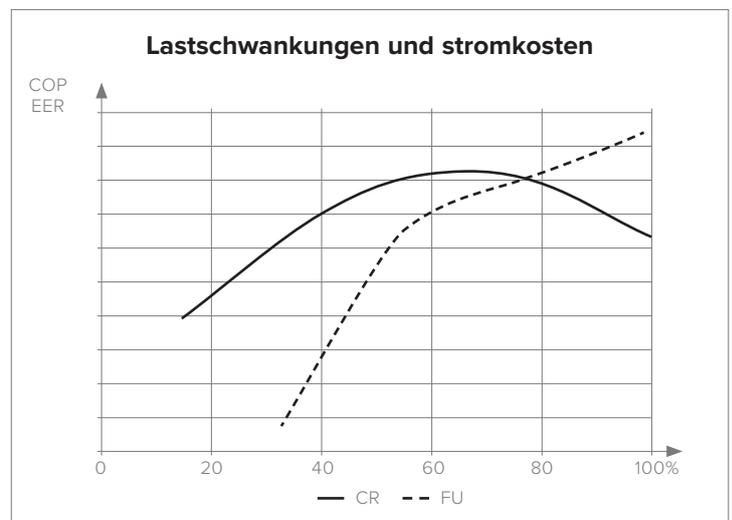
Anwendungsbereiche für Schraubenverdichter



## FLEXIBLER BETRIEB ZUR ANPASSUNG AN LASTSCHWANKUNGEN UND STROMKOSTEN

Wärmepumpen arbeiten am effizientesten bei 100 % Verdichterleistung, was eine Warmwasserspeicherung auf der Seite der Wärmesenke erfordert. Die in die Schraubenverdichter integrierten Schieberegler ermöglichen jedoch einen Betrieb bis zu 80 % der Höchstlast, was sich nur begrenzt negativ auf die Leistungszahl auswirkt. Um eine weitere Verschlechterung der Leistungszahl bei Lasten zwischen 50 % und 80 % zu vermeiden, wird ein variabler Frequenzantrieb (VFD) empfohlen. Durch die Konstruktion der Anlage mit mehreren Verdichtern wird diese Flexibilität ebenfalls erreicht, manchmal ohne die Notwendigkeit eines VFD, und gleichzeitig werden die negativen Auswirkungen auf die Leistungszahl begrenzt.

Lastschwankungen und stromkosten



## **HÖHERE ZUVERLÄSSIGKEIT FÜR WENIGER WARTUNG UND AUSFALLZEITEN**

ARMSTRONG+COMBITHERM-Wärmepumpen sind das Ergebnis unserer Erfahrung mit Hochtemperatur-Wärmepumpen (über 80 °C/176 °F) seit 2005. Die Technologie des Schraubenverdichters wurde mit anderen Arbeitsmedien erprobt, bevor sie 2020 auf HCFO-1233zd(E) und Anwendungen bis 120 °C/248 °F umgestellt wurde. Das spezifische Volumen der Arbeitsmediums ermöglicht den Betrieb des Verdichters bei relativ niedrigen Drücken (weniger als 17 bar/250 psi) – weit unter dem Auslegungsdruck von 28 bar/400 psi.

Die Konstruktion der Wärmepumpe wurde optimiert, um die Inbetriebnahme, Prüfung und Wartung der Hauptkomponenten zu erleichtern.

Unser Vertrauen in die Zuverlässigkeit der ARMSTRONG+COMBITHERM-Wärmepumpen wird durch die verlängerte Garantie bei Abschluss von Verträgen zur vorbeugenden Wartung bestätigt.

## **KEINE ZUSÄTZLICHEN SICHERHEITSANFORDERUNGEN VERRINGERN DIE GESAMTINVESTITIONEN**

Die Wahl von HCFO-1233zd(E) verbessert nicht nur die Zuverlässigkeit der ARMSTRONG+COMBITHERM-Wärmepumpen, sondern macht auch zusätzliche Sicherheitssysteme überflüssig, die den Benutzer vor der Giftigkeit und Entflammbarkeit anderer Arbeitsmedien schützen. Dadurch werden die Gesamtinvestitions- und Betriebskosten erheblich gesenkt und die Abwärmenutzung wird realisierbar.

## **KEINE ZEIT ZU VERLIEREN**

Die Rückgewinnung niedriggradiger Abwärme wird einer der wichtigsten Beiträge zur Energieeffizienz sein und damit die thermische Dekarbonisierung, mit der die Welt konfrontiert ist, erleichtern. Die industriellen Hochtemperatur-Wärmepumpen von ARMSTRONG+COMBITHERM sind die Lösung, um den Primärenergieverbrauch von Anlagen deutlich zu senken. Die thermische Dekarbonisierung ist machbar – sicher, zuverlässig und wirtschaftlich.

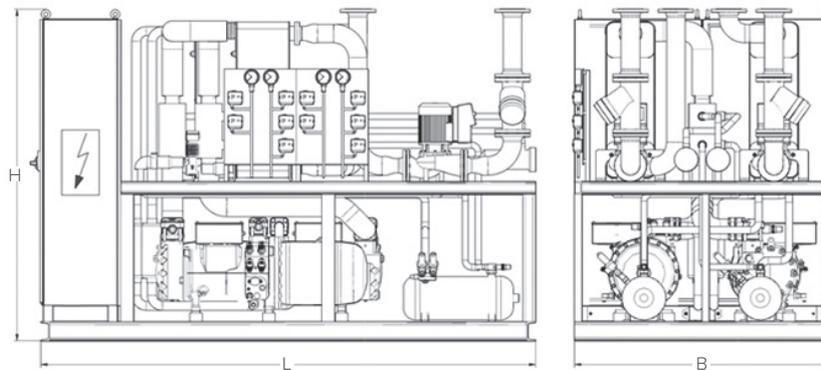
# ABMESSUNGEN

Serie HWW mit Schraubenverdichter, Arbeitsmedium 1233zd(E)

Wärmepumpe Typ	Leistung <sup>1</sup>	Länge mm	Breite mm	Höhe mm	Gewicht kg
HWW 7553	127	3100	1200	2100	1900
HWW 7563	147	3200	1200	2100	1900
HWW 7573	167	3200	1200	2100	2000
HWW 7583	191	3200	1200	2100	2200
HWW 8553	204	3300	1200	2100	2500
HWW 8563	232	3300	1200	2100	2600
HWW 8573	265	3400	1200	2100	2800
HWW 8593	346	4000	2000	2100	3600
HWW 9553	346	4000	2000	2200	4000
HWW 9563	397	4000	2000	2200	4200
HWW 9573	452	4100	2000	2200	4500
HWW 9583	520	4100	2000	2200	4800

Wärmepumpe Typ	Leistung <sup>1</sup>	Länge mm	Breite mm	Höhe mm	Gewicht kg
HWW 2/7553	255	3100	1600	2100	3000
HWW 2/7563	293	3200	1600	2100	3200
HWW 2/7573	333	4200	2000	2100	4000
HWW 2/7583	381	4200	2000	2100	4200
HWW 2/8553	407	4200	2000	2100	4800
HWW 2/8563	464	4300	2000	2100	5100
HWW 2/8573	530	4500	2000	2100	5300
HWW 2/8593	691	4900	2000	2100	6300
HWW 2/9553	691	4900	2000	2200	7200
HWW 2/9563	795	4900	2000	2200	7400
HWW 2/9573	905	4900	2000	2200	7800
HWW 2/9583	1040	4900	2000	2200	8500

<sup>1</sup> Wärmequelle Warmwasser 60 °C/140 °F / Wärmeableiter Warmwasser 98 °C/208 °F



## HINWEISE

---

### Quellen:

1. Mads P.Sulbaek Andersen, Johan A.Schmidt, Aleksandra Volkova, Donald J.Wuebbles, *A three-dimensional model of the atmospheric chemistry of E and Z-CF<sub>3</sub>CH=CHCl (HCFO-1233(zd) (E/Z))* ([HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.ATMOSENV.2018.02.018](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.02.018))
2. Carlos Mateu-Royo, Cordin Arpagaus, Adrián Mota-Babiloni, Joaquín Navarro-Esbrí, Stefan S. Bertsch, *Advanced high temperature heat pump configurations using low GWP refrigerants for industrial waste heat recovery: A comprehensive study* ([HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.ENCONMAN.2020.113752](https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113752))
3. George Kosmadakis, *Estimating the potential of industrial (high-temperature) heat pumps for exploiting waste heat in EU industries* ([HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.APPLTHERMALENG.2019.04.082](https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.04.082))
4. Guido Francesco Frate, Lorenzo Ferrari, Umberto Desideri, *Analysis of suitability ranges of high temperature heat pump working fluids* ([HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.APPLTHERMALENG.2019.01.034](https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.01.034))
5. T.J. Wallington, M.P. Sulbaek Andersen, O.J. Nielsen, *Atmospheric chemistry of short-chain haloolefins: Photochemical ozone creation potentials (POCPs), global warming potentials (GWPs), and ozone depletion potentials (ODPs)* ([HTTP://DX.DOI.ORG/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2014.06.092](http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.06.092))



INTELLIGENTE LÖSUNGEN FÜR WÄRMEVERSORGUNGSANLAGEN VON EINEM WELTWEIT  
FÜHRENDEN UNTERNEHMEN FÜR ENERGIEMANAGEMENT UND ANGENEHME ERFAHRUNGEN

**Armstrong International**

Nordamerika • Lateinamerika • Indien • Europa / Nahost / Afrika • China • Pazifikanrainer

**[armstronginternational.eu](http://armstronginternational.eu)**